

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 0 902 883 B1

(12)

## FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:

03.04.2002 Bulletin 2002/14

(51) Int Cl. 7: **G01F 1/66**

(21) Numéro de dépôt: 97928307.4

(86) Numéro de dépôt international:  
PCT/FR97/01012

(22) Date de dépôt: 06.06.1997

(87) Numéro de publication internationale:  
WO 97/46854 (11.12.1997 Gazette 1997/53)

### (54) PROCEDE DE MESURE DU TEMPS DE PROPAGATION D'UN SIGNAL ACOUSTIQUE DANS UN FLUIDE PAR PASSAGE A ZERO DUDIT SIGNAL ACOUSTIQUE

VERFAHREN ZUR MESSUNG DER FORTPFLANZUNGSZEIT EINES AKUSTISCHEN SIGNALS IN EINER FLÜSSIGKEIT DURCH DETEKTION DES NULLPUNKTDURCHGANGS DES SIGNALS

METHOD FOR MEASURING A SOUND SIGNAL PROPAGATION DELAY IN A FLUID BY ZERO-CROSSING OF THE SAID SOUND SIGNAL

(84) Etats contractants désignés:  
DE FR GB IT

• JUILLARD, Jérôme  
F-06000 Nice (FR)

(30) Priorité: 07.06.1996 FR 9607189

(74) Mandataire: Feray, Valérie et al  
Cabinet FERAY/LENNE  
44/52, Rue de la Justice  
75020 Paris (FR)

(43) Date de publication de la demande:  
24.03.1999 Bulletin 1999/12

(56) Documents cités:

(73) Titulaire: SCHLUMBERGER INDUSTRIES S.A.  
92120 Montrouge (FR)

EP-A- 0 100 584 EP-A- 0 312 224  
EP-A- 0 426 309 US-A- 5 012 449

(72) Inventeurs:

• DE VANSSAY, Robert  
F-91600 Savigny-sur-Orge (FR)

EP 0 902 883 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

[0001] La présente invention a pour objet un procédé de mesure du temps de propagation d'un signal acoustique dans un écoulement de fluide entre un premier transducteur jouant le rôle d'émetteur et un second transducteur jouant le rôle de récepteur et situé à une distance déterminée du premier transducteur, le signal acoustique émis par le premier transducteur étant constitué par au moins une impulsion émise à une fréquence acoustique déterminée  $F_a$  et le signal acoustique reçu par le second transducteur comprenant une série d'oscillations caractéristiques dont l'amplitude est d'abord croissante sur plusieurs périodes, puis décroissante sur plusieurs périodes suivantes, l'enveloppe des oscillations caractéristiques présentant la forme d'un fuseau, le procédé consistant à échantillonner le signal acoustique reçu, à une fréquence d'échantillonnage  $F_e$ , à numériser le signal acoustique reçu échantillonné, et à rechercher, par analyse du signal acoustique reçu échantillonné et numérisé, le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu.

[0002] Il est connu depuis de nombreuses années de mesurer le débit d'un fluide (ou son volume) s'écoulant dans une conduite en utilisant la propagation des signaux acoustiques émis entre deux transducteurs acoustiques situés en des points espacés dans la direction de l'écoulement du fluide. En principe, un signal acoustique émis du premier transducteur vers le second transducteur est reçu par ce second transducteur et le temps de propagation  $T_d$  de ce signal acoustique est mesuré. De même, on mesure le temps de propagation  $T_u$  d'un signal acoustique émis du second transducteur vers le premier transducteur après réception dudit signal par ce premier transducteur.

[0003] Dans un compteur de fluide, le débit peut être obtenu en combinant une mesure des temps de propagation des deux signaux acoustiques émis entre les deux points dans des directions opposées avec une mesure des déphasages acoustiques induits dans chaque signal acoustique par la propagation de chacun des signaux acoustiques dans l'écoulement. La demande de brevet européen n° 0 426 309 décrit un exemple d'un tel système de mesure de débit, dans lequel le signal reçu est échantillonné et converti numériquement, la mesure du déphasage acoustique étant effectuée en réalisant une détection synchrone du signal numérisé.

[0004] Lors de la mesure de la vitesse d'écoulement d'un gaz dans un compteur de gaz utilisant deux transducteurs ultrasonores, il est nécessaire de mesurer le temps de parcours de l'onde ultrasonore entre l'instant d'émission et l'instant de réception, dès lors que la célérité des ondes ultrasonores est dépendante de la nature du gaz.

[0005] On a représenté sur la Figure 2 la forme d'un signal impulsionnel rectangulaire  $S_1$  de largeur  $T$  émis à un instant  $T_0$  par un premier transducteur ultrasonore

disposé dans le flux d'écoulement d'un fluide en un premier point, et la forme du signal  $S_2$  constituant la réponse impulsionnelle reçue en écho à un instant  $T_1$  par un deuxième transducteur ultrasonore disposé dans le flux d'écoulement du fluide en un deuxième point distinct du premier point.

[0006] Le signal acoustique  $S_2$  reçu par le second transducteur est constitué par une série d'oscillations caractéristiques  $O_c$  qui augmentent d'amplitude sur plusieurs périodes puis décroissent, l'enveloppe des oscillations caractéristiques présentant la forme d'un fuseau. Les oscillations caractéristiques  $O_c$  du signal  $S_2$  sont précédées et suivies d'oscillations parasites  $O_p$  de faible amplitude. Pour déterminer l'instant  $T_1$  de début des oscillations caractéristiques, il convient de repérer le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques  $O_c$  du signal acoustique reçu  $S_2$ .

[0007] On a représenté sur la Figure 3, à une échelle plus grande que sur la Figure 2, un exemple de signal acoustique  $S_2$  reçu en écho à une impulsion rectangulaire  $S_1$  émise à une fréquence acoustique déterminée  $F_a$ .

[0008] Pour déterminer le début des oscillations caractéristiques  $O_c$ , selon un procédé connu, on fixe une tension de seuil  $V_S$ , par rapport à laquelle on compare le niveau du signal acoustique reçu  $S_2$ , la comparaison s'effectuant sur un signal numérique obtenu après échantillonnage du signal acoustique analogique reçu, à une fréquence d'échantillonnage  $F_e$  qui constitue par exemple un multiple de la fréquence acoustique  $F_a$ .

[0009] Dans ce cas, on repère l'instant  $T_2$  auquel l'amplitude du signal reçu franchit la tension de seuil  $V_S$ , puis on identifie l'instant du passage à zéro précédent (ou suivant) que l'on considère comme l'instant  $T_1$  de départ des oscillations caractéristiques  $O_c$  du signal acoustique reçu  $S_2$ .

[0010] Une telle méthode de mesure peut conduire à des erreurs dès lors que les oscillations caractéristiques  $O_c$  du signal acoustique reçu  $S_2$  peuvent être plus ou moins amplifiées en fonction de la nature du gaz. Ainsi, on a représenté sur la Figure 4 une courbe  $S_{21}$  qui correspond à la forme d'un signal acoustique reçu pour de l'azote ( $N_2$ ) et une courbe  $S_{22}$  qui correspond à la forme d'un signal acoustique reçu pour un mélange de gaz carbonique et de méthane ( $CO_2/CH_4$ ). On constate que la courbe  $S_{21}$  franchit la tension de seuil  $V_S$  à un instant  $T_4$  qui déclenche l'identification du passage à zéro précédent à un instant  $T_3$  qui est considéré à juste titre comme la marque du début des oscillations caractéristiques  $O_c$ . En revanche, on peut constater que la courbe  $S_{22}$ , qui est en phase avec la courbe  $S_{21}$ , franchit la tension de seuil  $V_S$  à un instant  $T_6$  postérieur à l'instant  $T_4$  et décalé par rapport à celui-ci de la valeur d'une période  $T_R$  du signal reçu. L'instant  $T_5$  identifié alors pour la courbe  $S_{22}$  comme le point de passage à zéro précédent immédiatement le franchissement de seuil à l'instant  $T_6$ , est alors considéré comme la marque du début des oscillations caractéristiques  $O_c$  de la courbe  $S_{22}$ . Or, com-

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55

me on peut le voir sur la Figure 4, la courbe  $S_{22}$  présente un lobe négatif qui ne vient qu'affleurer la valeur de la tension de seuil  $V_s$  sans atteindre ou franchir ce seuil.

[0011] Par suite des atténuations ou amplifications du signal reçu  $S_2$ , qui varient en fonction de la nature du gaz, la méthode classique de mesure du temps du premier passage à zéro des oscillations caractéristiques du signal reçu peut engendrer une erreur de plus ou moins une période qui fait diminuer de façon significative la précision des mesures.

[0012] L'invention vise à remédier aux inconvénients précités et à permettre de diminuer la sensibilité du procédé de mesure du temps de passage à zéro d'un signal acoustique reçu, vis-à-vis des variations de formes d'onde de ce signal ainsi que vis-à-vis d'éventuelles perturbations extérieures susceptibles d'être détectées par une simple méthode de surveillance de franchissement de seuil, et qui pourraient engendrer des mesures erronées.

[0013] Ces buts sont atteints, conformément à l'invention, grâce à un procédé de mesure du temps de propagation d'un signal acoustique dans un écoulement de fluide entre un premier transducteur jouant le rôle d'émetteur et un second transducteur jouant le rôle de récepteur et situé à une distance déterminée du premier transducteur, le signal acoustique émis par le premier transducteur étant constitué par au moins une impulsion émise à une fréquence acoustique déterminée  $F_a$  et le signal acoustique reçu par le second transducteur comprenant une série d'oscillations caractéristiques dont l'amplitude est d'abord croissante sur plusieurs périodes, puis décroissante sur plusieurs périodes suivantes, l'enveloppe des oscillations caractéristiques présentant la forme d'un fuseau, le procédé consistant à échantillonner le signal acoustique reçu, à une fréquence d'échantillonnage  $F_e$ , à numériser le signal acoustique reçu échantillonné, et à rechercher, par analyse du signal acoustique reçu échantillonné et numérisé, le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu, caractérisé en ce que, pour rechercher le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu, on définit au préalable une première période caractéristique idéale déterminant le premier passage par zéro des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu, en caractérisant cette période idéale par un rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  entre les amplitudes maximales  $P_i$ - et  $P_i+$  des deux lobes de cette période, on détermine pour chaque période du signal acoustique reçu échantillonné et numérisé, les amplitudes maximales  $P_i$ - et  $P_i+$  des deux lobes de la période examinée, on compare le rapport de ces amplitudes  $P_i$ - et  $P_i+$  au rapport d'amplitudes théorique correspondant de la période idéale puis, si le résultat de la comparaison est supérieur à une valeur de seuil  $G_s$ , on considère la période examinée comme une période parasite correspondant à du bruit tandis que, si le résultat de la comparaison est inférieur à cette valeur de seuil  $G_s$ , on con-

sidère la période examinée comme une période caractéristique et on détermine alors le passage par zéro entre deux lobes de cette période caractéristique, lequel passage à zéro est considéré comme le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu.

[0014] Le rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  entre les amplitudes maximales  $P_i$ - et  $P_i+$  des deux lobes de cette période idéale est déterminé au préalable à partir d'une moyenne, pour plusieurs gaz différents et à différents débits, du rapport entre les amplitudes maximales  $P_i$ - et  $P_i+$  de la période caractéristique observée à partir de l'enregistrement de signaux acoustiques reçus.

[0015] Le rapport d'amplitude  $\Delta$  entre les amplitudes maximales  $P_i$ - et  $P_i+$  des deux lobes de la première période caractéristique idéale d'un signal acoustique reçu est quasi constant en fonction de la nature des gaz et est indépendant d'un facteur de gain. Le choix d'un critère de comparaison basé sur ce rapport  $\Delta$  permet de diminuer très fortement la dépendance de la mesure à la nature du gaz, et donc d'améliorer la précision et la fiabilité des mesures.

[0016] Selon un premier mode de réalisation de l'invention, la comparaison entre le rapport des amplitudes  $P_i$ - et  $P_i+$  de la période examinée et le rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de ressemblance  $G$  qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil  $G_s$ , et qui est défini de la façon suivante :

30

35

$$G = \left| \frac{(P_i) - \Delta (P_i)}{(P_i)} \right|$$

[0017] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, la comparaison entre le rapport des amplitudes  $P_i$ - et  $P_i+$  de la période examinée et le rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de ressemblance  $G$  qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil  $G_s$ , et qui est défini de la façon suivante :

45

50

$$G = \left| \frac{(P_i) - \Delta (P_i)}{(P_i) - z} \right|$$

où  $z$  représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance  $G$  légèrement dépendant de l'amplitude maximale  $(P_i)$  du lobe négatif de la période caractéristique examinée.

[0018] Selon ce deuxième mode de réalisation, on limite les risques de pouvoir détecter des formes d'ondes ressemblant au critère de ressemblance ou gabarit  $G$ ,

qui seraient noyées dans du bruit.

[0019] Pour réduire encore la probabilité de détecter des périodes ressemblantes de faible amplitude, selon un troisième mode de réalisation de l'invention, la comparaison entre le rapport des amplitudes P- et P+ de la période examinée et le rapport d'amplitudes théorique correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de ressemblance G qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil G<sub>s</sub>, et qui est défini de la façon suivante :

$$G = \left| \frac{(P-) - \Delta [(P+) - z']}{(P-) - z} \right|$$

où z représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance G légèrement dépendant de l'amplitude maximale (P-) du lobe négatif de la période caractéristique examinée, et z' représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance G légèrement dépendant de l'amplitude maximale (P+) du lobe positif de la période caractéristique examinée.

[0020] Afin d'éviter des erreurs dans la détermination des amplitudes maximales P- et P+ des deux lobes de chaque période examinée, erreurs qui peuvent être dues à un déphasage existant entre le signal acoustique reçu et le signal d'échantillonnage, on peut utiliser un algorithme d'approximation du maximum (en valeur absolue) à partir des points échantillonnes au voisinage de chaque maximum en vue d'obtenir une meilleure précision sur les valeurs P- et P+. Toujours pour éviter ces mêmes erreurs, lorsque le signal acoustique reçu est répétable, on effectue plusieurs mesures successives respectivement sur plusieurs signaux acoustiques consécutifs, en déphasant pour chaque signal acoustique le signal d'échantillonnage par rapport au signal acoustique considéré, afin d'obtenir plusieurs points échantillonnes décalés au voisinage du maximum.

[0021] Selon une variante de réalisation permettant également de réduire la probabilité de détecter des périodes ressemblantes de faible amplitude, on effectue, pour chaque période examinée, deux ou trois calculs du critère de ressemblance G avec des valeurs du rapport d'amplitudes théorique différentes voisines du rapport d'amplitude théorique prédéterminé et ne s'écartant pas de celle-ci de plus de 10%, et l'on considère la période examinée comme une période caractéristique si le critère de ressemblance calculé G est dans tous les cas inférieur à la valeur de seuil G<sub>s</sub>.

[0022] Pour déterminer la valeur de seuil G<sub>s</sub> du critère de ressemblance G, ainsi que la valeur du terme de décalage z, on trace au préalable, pour différents gaz et différents débits, en faisant varier le déphasage entre la fréquence d'échantillonnage F<sub>e</sub> et le signal acoustique reçu et en appliquant un facteur de gain variant entre

0,45 et 1,5, un réseau de premières courbes représentant les valeurs maximums du critère de ressemblance G pour les périodes caractéristiques observées et un réseau de deuxièmes courbes représentant les valeurs minimums du critère de ressemblance G pour les périodes parasites observées, en fonction de différentes valeurs possibles du terme de décalage z, et on choisit la valeur de seuil G<sub>s</sub> et celle du terme de décalage z en fonction de la marge de sécurité possible dans la zone intermédiaire entre le réseau de premières courbes et le réseau de deuxièmes courbes.

[0023] A titre d'exemple, la valeur de seuil G<sub>s</sub> peut être comprise entre 0,7 et 1,7 et la valeur du terme de décalage z peut être comprise entre 0,21 et 0,25 V.

[0024] L'invention est avantageusement applicable à un procédé de mesure de la vitesse d'écoulement d'un fluide entre deux transducteurs disposés en des points de mesure espacés dans la direction d'un écoulement du fluide selon lequel la valeur de la vitesse d'écoulement à mesurer est obtenue en combinant une mesure des temps de propagation respectifs de chacun des deux signaux acoustiques émis entre les deux points dans des sens opposés par les transducteurs avec une mesure des déphasages acoustiques respectivement induits dans chaque signal acoustique par la propagation de chacun desdits signaux acoustiques dans l'écoulement, la mesure des temps de propagation respectifs de chacun des deux signaux acoustiques émis entre les deux points de mesure étant effectuée conformément au procédé selon la présente invention.

[0025] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description suivante de modes particuliers de réalisation, faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la Figure 1 est une représentation, sous la forme d'un schéma-bloc, de l'ensemble d'un dispositif de comptage de gaz connu auquel est applicable la présente invention ;
- la Figure 2 est un diagramme montrant le principe d'une méthode connue de détermination du temps de propagation d'un signal acoustique dans un milieu fluide ;
- la Figure 3 est un diagramme agrandi d'une partie de la Figure 2 montrant le principe d'une méthode connue de détermination du temps de propagation d'un signal acoustique par comparaison du signal reçu avec une valeur de seuil ;
- la Figure 3a est un diagramme analogue à celui de la Figure 3 montrant la façon dont on opère sur un signal échantillonné, selon une méthode connue de détermination du temps de propagation d'un signal acoustique par passage à zéro ;
- la Figure 4 est un ensemble de deux diagrammes analogues à celui de la Figure 3 montrant les risques d'erreur dans une méthode connue de détermination du temps de propagation d'un signal acoustique faisant appel à une comparaison des si-

gnaux reçus avec une valeur de seuil ;

- la Figure 5 est un diagramme montrant le principe de mise en oeuvre du procédé selon l'invention pour la détermination du temps de propagation d'un signal acoustique dans un milieu fluide ; et
- la Figure 6 est un diagramme comportant des familles de courbes permettant de choisir des valeurs de paramètres utiles pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention.
- la Figure 7 est un organigramme montrant un exemple des différentes étapes du procédé selon l'invention.

[0026] Différents types de circuits électroniques peuvent être utilisés pour assurer un comptage de fluide par une méthode de mesure à ultrasons de la vitesse d'écoulement du fluide. La Figure 1 montre le schéma de principe d'un exemple de tels circuits électroniques qui sont associés à deux transducteurs ultrasonores 1, 2 disposés à distance l'un de l'autre dans une conduite 3 dans laquelle s'écoule un fluide tel qu'un gaz. Les deux transducteurs 1, 2 sont reliés à un bloc de commutation 4 qui comprend deux commutateurs 5, 6 et permet l'utilisation de chaque transducteur alternativement comme émetteur et récepteur. Un module d'émission 14 et un module de réception 17 sont reliés respectivement aux commutateurs 5, 6 du bloc de commutation 4. Le module d'émission 14 comprend un amplificateur opérationnel 16 et un convertisseur numérique-analogique 15. Le module de réception 17 comprend au moins un amplificateur 18 et un convertisseur analogique-numérique 19 qui numérise et échantillonne simultanément le signal reçu. Une source d'énergie électrique 7 et un module 8 de gestion de l'alimentation électrique sont reliés notamment aux modules d'émission 14 et de réception 17 ainsi qu'au bloc de commutation 4 et à un microcontrôleur 10. Le microcontrôleur 10 comprend notamment une horloge à quartz 9, une unité arithmétique et logique, des circuits de mémoire vive et de mémoire morte, et peut coopérer avec des circuits d'affichage 13, une mémoire morte réinscriptible 12 et une liaison série 11 du type RS 232.

[0027] Les compteurs de gaz destinés à équiper chaque abonné d'un réseau de distribution doivent être à la fois précis, fiables et le meilleur marché possible. Ces contraintes imposent d'éviter l'utilisation de composants coûteux, de mettre en oeuvre de petites piles d'alimentation de longue durée mais de capacité moyenne pour des raisons de sécurité et d'effectuer des calculs selon un procédé de mesure assurant à la fois une précision et une fiabilité élevées tout en restant suffisamment simple pour être économique en énergie.

[0028] Le procédé de mesure selon l'invention qui sera explicité plus loin est ainsi avantageusement appliqué à un dispositif de mesure de la vitesse d'écoulement d'un fluide gazeux, permettant d'assurer le comptage de la consommation de ce fluide, en mettant en oeuvre deux transducteurs ultrasonores disposés à distance

l'un de l'autre à l'intérieur d'une conduite, dans le sens d'écoulement du fluide. A titre d'exemple, les transducteurs ultrasonores peuvent fonctionner à une fréquence acoustique  $F_a$  de l'ordre de 40 kHz et la fréquence d'échantillonnage  $F_e$  des signaux acoustiques reçus est avantageusement de 320 kHz, c'est-à-dire huit fois plus élevée que la fréquence  $F_a$ .

[0029] La fréquence d'échantillonnage  $F_e$  est avantageusement égale à un multiple de la fréquence acoustique  $F_a$ . Toutefois, la fréquence  $F_e$  peut également prendre d'autres valeurs. Lorsque les valeurs (multiples de  $F_a$  ou non multiples) de  $F_e$  sont trop basses, il est préférable d'utiliser par exemple un algorithme d'approximation au voisinage du maximum (en valeur absolue) de chaque période du signal acoustique, voire d'effectuer plusieurs mesures successives en déphasant à chaque nouvelle mesure le signal d'échantillonnage par rapport au signal acoustique considéré, ceci afin d'obtenir une plus grande précision sur les valeurs des amplitudes maximales (en valeur absolue). Ces méthodes seront détaillées ultérieurement.

[0030] Lorsque les valeurs de  $F_e$  sont suffisamment élevées l'emploi de telles méthodes n'est pas nécessaire.

[0031] Le signal acoustique émis par chaque transducteur est constitué par exemple par une impulsion émise à la fréquence acoustique déterminée  $F_a$ . Cette impulsion est par exemple rectangulaire.

Plusieurs impulsions pourraient également être émises.

[0032] D'une manière générale, le débit de fluide dans une conduite peut s'écrire :

$$\Phi = (SL/2) (Tu - Td) / Tu.Td$$

35

où

S désigne la section moyenne de passage offerte à l'écoulement entre les deux transducteurs acoustiques,

40 L désigne la distance séparant les transducteurs,  $T_d$  est le temps de propagation du signal acoustique émis dans le sens de l'écoulement par le premier transducteur (amont) jusqu'à la réception de ce signal acoustique par le second transducteur (aval),

45  $T_u$  est le temps de propagation du signal acoustique émis dans le sens contraire de l'écoulement par le second transducteur, jusqu'à la réception de ce signal acoustique par le premier transducteur (amont).

50 [0033] Si la mesure de ce débit fait en outre intervenir une mesure des déphasages acoustiques induits dans chaque signal acoustique par la propagation de chacun des signaux acoustiques émis par les transducteurs dans l'écoulement, le débit de fluide dans une conduite peut s'écrire :